

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Kazuya TAKEMOTO, et al.**

Group Art Unit: **Not Yet Assigned**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Examiner: **Not Yet Assigned**

Filed: **February 18, 2004**

For: **SINGLE-PHOTON GENERATOR AND SINGLE-PHOTON GENERATING METHOD**

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Date: February 18, 2004

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**Japanese Appln. No. 2003-043188, filed February 20, 2003**

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, KRATZ, QUINTOS,  
HANSON & BROOKS, LLP

*William L. Brooks*

William L. Brooks

Attorney for Applicants

Reg. No. 34,129

WLB/jaz  
Atty. Docket No. **040061**  
Suite 1000  
1725 K Street, N.W.  
Washington, D.C. 20006  
(202) 659-2930



**23850**

PATENT TRADEMARK OFFICE

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy  
of the following application as filed with this office.

Date of Application: February 20, 2003

Application Number: No. 2003-043188  
[ST.10/C]: [JP 2003-043188]

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

October 28, 2003

Commissioner,  
Patent Office. Yasuo Imai (Seal)

Certificate No. 2003-3089141

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   2 月 2 0 日  
Date of Application:

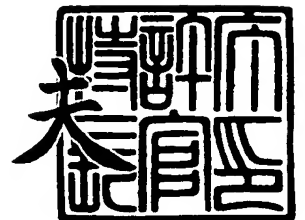
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 0 4 3 1 8 8  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 0 4 3 1 8 8 ]

出   願   人            富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 2 8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 0241436

【提出日】 平成15年 2月20日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 単一光子発生装置および単一光子発生方法

【請求項の数】 9

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 竹本 一矢

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 臼杵 達哉

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 ▲高▼津 求

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100070150

    【住所又は居所】 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデンプレイスタワー32階

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 伊東 忠彦

    【電話番号】 03-5424-2511

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0114942

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 単一光子発生装置および単一光子発生方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 量子ドットを含む励起子発生部と、  
前記励起子発生部中に励起子を生成させる励起部と、  
前記励起子発生部における励起子の再結合タイミングを制御する再結合制御部と、

前記励起子発生部に設けられ、前記励起子の再結合により生じた単一光子を通過させる光学窓とよりなり、

前記再結合制御部は、前記励起子発生部において前記励起子の再結合を、前記励起子の励起後、前記励起子発生部における励起子分子の再結合寿命よりも長い時間が経過した後で生じさせることを特徴とする単一光子発生装置。

【請求項 2】 前記励起子発生部は、前記量子ドット内にタイプ I I のヘテロ接合を含むことを特徴とする請求項 1 記載の単一光子発生装置。

【請求項 3】 前記前記量子ドットは、組成を一の側から他の側に向かって連続的に変化させることを特徴とする請求項 2 記載の単一光子発生装置。

【請求項 4】 前記量子ドットは、S-Kモード成長した量子ドットよりなることを特徴とする請求項 1～3 のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

【請求項 5】 前記量子ドットは、一対の AlAs 層の間に挟持された InAs 層と GaSb 層との積層よりなり、前記 InAs 層は前記 GaSb 層に向かって組成を連続的に変化させることを特徴とする請求項 1～4 記載の単一光子発生装置。

【請求項 6】 前記再結合制御部は、前記励起子発生部に設けた電極と、前記電極にバイアス電圧を印加する電圧源と、前記バイアス電圧の前記電極への印加を制御するスイッチ回路とよりなり、前記スイッチ回路は前記電極への前記バイアス電圧を、励起子分子の再結合寿命よりも長い間隔で行うことを特徴とする請求項 1～5 のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

【請求項 7】 さらに前記単一光子の光路上に設けられた光学ゲート部材を

含むことを特徴とする請求項 1～6 のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

【請求項 8】 前記光学ゲート部材は、前記再結合制御部により制御され、前記励起子の再結合に同期して前記単一光子を通過させることを特徴とする請求項 7 記載の単一光子発生装置。

【請求項 9】 媒体中に励起子を励起する工程と、  
前記励起子を再結合されることにより単一光子を発生させる工程とよりなる単一光子発生方法であって、

前記再結合工程は、前記励起工程の後、前記媒体中における励起子分子の再結合寿命よりも長い時間経過後に行われることを特徴とする単一光子発生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般に光源装置に係り、特に単一光子発生装置に関する。

【0002】

電子政府や電子商取引など次世代情報化社会の実現に向けて、安全・確実な暗号通信は必要不可欠である。

【0003】

現在インターネットで広く用いられている RSA 公開暗号鍵方式は、素因数分解を多項式時間で解くことは困難であるという計算量の側面によってのみ、その安全性を保証されている。しかしながら、並列計算を高速に実行できる量子計算機が登場すれば、このような暗号を解読するのにかかる時間は飛躍的に短縮されと考えられている。また公開暗号鍵方式では第三者によるデータの複製、すなわち盗聴や改ざんを防ぐことも不可能である。

【0004】

こうした安全性の問題を解決する手段として期待されているのが量子暗号である。

【0005】

量子暗号は、従来のような光子の集合体ではなく、光子一つ一つに情報をのせ

て伝送する。

#### 【0 0 0 6】

情報の1ビットを1つの光子に、例えば偏光情報の形で付与した場合、各々の光子の保持する情報は、不確定性原理およびno-cloning定理に従うため、光子の状態を破壊することなしにはビット情報を取り出すことができなくなる。そこで通信経路上の第三者が情報の複製や改ざんを行った場合、このような行為は直ちに検知される。

#### 【0 0 0 7】

すなわち、量子暗号を使った場合、二者間で共有された暗号鍵の安全性は、情報の担い手が単一光子である限り、計算量的困難性ではなく物理的原理に基づいて保証される。一方、このような暗号鍵の安全性を確保し盗聴のリスクを排除するためには、信頼性の高い単一光子源が必須になる。

#### 【0 0 0 8】

##### 【従来の技術】

従来の量子暗号実験においては、擬似的な単一光子源として、強度を弱めたパルスレーザ光が用いられている (Rev. Mod. Phys., vol. 74, 145 (2002))。この技術では光子の存在確率が10パルス中平均1個程度になるまでレーザ光をアッテネータで減衰させており、セットアップが簡便、波長が可変、しかも室温動作が可能という利点を有している。一方、この従来技術では、単一光子の生成されるタイミングはポアソン分布に従うため、全く光子が放出されない、あるいは複数個の光子が同時に放出されてしまう確率が有限の割合で存在し、非効率的であるとともに、安全性の点からも問題を有している。複数個の光子が実質的に同時に伝送された場合には、上記の安全性は保障されない。

#### 【0 0 0 9】

一方、レーザ光の減衰とは異なる原理を使った単一光子生成機構も提案されている。

#### 【0 0 1 0】

Kimらの報告する単一光子ターンスタイル素子は、半導体のp n接合で発生するクーロン・ブロッケード効果を用い、外部変調電場ごとに単一光子を生成する



(Nature, vol. 397, 500 (1999))。またLounisらは、terrylene分子をp-terphenylの薄片に埋め込む方法で最大6.25MHzの繰り返しで単一光子を生成可能と報告している(Nature, vol. 407, 491 (2000))。しかしながら前者は動作温度が50mKと極めて低く、バックグラウンド電流による余計な光子も発生してしまい、後者は母体のp-terphenylが余計な光子が発生してしまうなどの問題が残るため、実用的な量子暗号装置としては不満足なものである。

#### 【0011】

##### 【特許文献1】

特開 2 0 0 2 - 2 6 8 1 0 4 号公報

#### 【0012】

##### 【特許文献2】

特開 2 0 0 1 - 2 3 0 4 4 5 号公報

#### 【0013】

##### 【発明が解決しようとする課題】

量子暗号装置に使われる単一光子光源として要求される条件は、次の2点である。

#### 【0014】

- ① 同時に複数個の光子が放出されないこと (アンチバンチング)
- ② 任意のタイミングで単一光子を放出できること (フォトン・オンデマンド)

従来の技術では、上記①、②のいずれか、あるいはその両方において課題が残されていた。①が満たされなければ盗聴を看過する確率が増え、一方②が満たされなければ受信側のエラーが増え、十分なビットレートを得ることができなくなる。

#### 【0015】

そこで本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な光源装置を提供することを概括的課題とする。

#### 【0016】

本発明のより具体的な課題は、上記2つの条件を同時に満たすことのできる単

一光子生成装置および方法を提供する。

#### 【0 0 1 7】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は上記の課題を、量子ドットを含む励起子発生部と、前記励起子発生部に励起子を生成させる励起部と、前記励起子発生部における励起子の再結合タイミングを制御する再結合制御部と、前記励起子発生部に設けられ、前記励起子の再結合により生じた単一光子を通過させる光学窓とよりなり、前記再結合制御部は前記励起子発生部において前記励起子の再結合を、前記励起子発生部における励起子分子の再結合寿命よりも長い間隔で発生させることを特徴とする単一光子発生装置により、解決する。

#### 【0 0 1 8】

また本発明は上記の課題を、媒体中に励起子を励起する工程と、前記励起子を再結合されることにより単一光子を発生させる工程とよりなる単一光子発生方法であって、前記再結合工程は、前記媒体中における励起子分子の再結合寿命よりも長い間隔で行われることを特徴とする単一光子発生方法により、解決する。

#### 【0 0 1 9】

本発明は、再結合により単一光子を発生させる励起子の再結合寿命が、再結合の結果複数の光子を発生させてしまう励起子分子 (biexciton) の再結合寿命よりも長いことをその原理としている。すなわち本発明によれば、励起子発生部を構成する媒体中に励起された励起子の再結合により単一光子を発生させる際に、前記励起子の再結合を、前記媒体中に同時に励起された励起子分子の再結合が終了したタイミングで行うことにより、単一光子を確実に抽出することが可能になる。このような励起子は、量子ドット、特にタイプ I I のヘテロ接合を形成する量子ドット中に光励起により容易に形成することが可能である。

#### 【0 0 2 0】

##### 【発明の実施の形態】

##### 〔第 1 実施例〕

図 1 は、本発明の第 1 実施例による単一光子発生装置 1 0 の構成を示す。

#### 【0 0 2 1】

図1を参照するに、前記単一光子発生装置10はn型GaAs基板11上にエピタキシャルに形成された厚さが約20～30nmの非ドープAlAsバリア層12を含み、前記AlAsバリア層12上にはInAs-GaSb系の量子ドット13が後で説明するS-K (Stranski-Krastanow) モード成長機構により、多数形成されている。

#### 【0022】

図2に示すように前記量子ドット13の各々は内部に組成勾配を有しており、内側がInAsに富んだ組成を、また外側がGaSbに富んだ組成を有している。

#### 【0023】

さらに前記バリア層12上には前記量子ドット13を埋めるように、厚さが約20～30nmの別の非ドープAlAsバリア層14がエピタキシャルに形成されており、さらに前記バリア層14上には厚さが約20nmのp型GaAsコンタクト層15がエピタキシャルに形成されている。

#### 【0024】

前記コンタクト層上には前記複数の量子ドット13の一つに対応して直上に形成された光学窓16Aを有する上部電極16がオーミックに形成されており、また前記GaAs基板11の下面には下部電極17がオーミックに形成されている。

#### 【0025】

図1の単一光子発生装置10はさらに前記量子ドット13を照射するように設けられた発振波長が800nm～1μm程度の半導体レーザ18を含み、前記半導体レーザ18は前記量子ドット13中に、レーザビーム18Aを照射することにより、図3(A)において説明するように励起子を励起する。

#### 【0026】

さらに図1の単一光子発生装置10は電極16と17との間にスイッチ回路19Aを介して接続されたバイアス電源19を備え、前記スイッチ回路19Aが制御回路19Bに制御の下に閉じられると、前記バイアス電源19からの逆バイアス電圧が前記電極16, 17間に印加される。

## 【0027】

図3 (A) は、図1中の量子ドット13の、非バイアス状態におけるバンド構造図を示す。

## 【0028】

図3 (A) を参照するに、前記量子ドット13にそのバンドギャップに対応した波長 $\lambda$ を有する励起光パルスが入来すると電子1とホール2とが励起されるが、前記量子ドット13では先に説明した組成傾斜に対応して伝導帯 $E_c$ および価電子帯 $E_v$ が傾斜しているため、励起された電子はInAsに富んだ量子ドット13の下端部に、また励起されたホールはGaSbに富んだ量子ドット13の上端部に、図中に矢印で示すように空間的に分離して、すなわち分極した状態で保持され、励起子を形成する。このような励起子は、電子とホールの波動関数の重なりが少ないため安定で、1.7～1.8ナノ秒に達する再結合寿命が実現される。

## 【0029】

一方図3 (B) に示すように前記スイッチ19Aを閉じて前記電極16、17間に逆バイアス電圧を印加した場合、前記量子ドット13中のバンドは印加電界の効果により平坦化され、図3 (A) に示す電子1とホール2の局在化ないし分極が解除される。この場合には電子とホールの波動関数は重なり、これらの電子1とホール2とは前記量子ドット13中において容易に再結合する。その結果、単一の光子3が発生し、放出される。

## 【0030】

このようにして放出された単一光子は、図1に示すように前記電極16に形成された光学窓16Aを通して出射し、さらに制御装置19Bにより前記スイッチ回路19Aと同期して制御される音響光学素子などの光学ゲート部材20でゲートされ、必要に応じて図示していない量子コンピュータなどに供給される。

## 【0031】

図3 (A) のレーザ18を使った励起過程では、前記励起光の照射により複数の電子およびホールが励起され、その結果、励起子分子 (biexciton) が形成されるのが避けられない。しかし、これら複数の電子およびホールでは図4に概略

的に示すように空間的な分離の程度が図 3 (A) の場合と比較して小さく、従ってこれらの電子およびホールは短時間に、典型的には励起後数百ピコ秒以内に再結合して効率的に消滅する。これに対し励起子分子は、先にも説明したように電子とホールの空間的な分離効果により、単一の励起子の場合よりも長い、1.7 ～ 1.8 ナノ秒程度の再結合寿命を有している。

#### 【0032】

そこで図 1 の単一光子発生装置 10 において前記制御装置 19 B を、前記制御装置 19 B が前記スイッチ 19 A を、前記レーザビーム 18 A による励起の後、励起子分子の再結合寿命以上の時間、例えば 1 ナノ秒の時間が経過した後で駆動するように構成することにより、確実に単一光子のみを発生させることが可能になる。その際、前記単一光子の放出に先立って前記励起子分子の再結合により放出される光子は、前記光学ゲート部材 20 を前記スイッチ回路 19 A に同期して駆動することにより遮断することができる。

#### 【0033】

なおこのような光学ゲート部材 20 としては、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  や  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、さらには  $\text{LiNbO}_3$  や  $\text{LiTaO}_3$  などの電気光学結晶を使った高速光スイッチ素子を使うことができる。

#### 【0034】

なお前記量子ドット 13 を S-K モード成長により形成した場合には、前記 AlAs バリア層 12 上における量子ドット 13 の分布は一般にランダムになるが、図 1 の単一光子発生装置 10 では前記電極 16 中の光学窓 16 A を前記複数の量子ドット 13 の一つに対応させて形成しているため、他の量子ドットからの光子放出は電極 16 により遮断される。換言すると、図 1 の単一光子発生装置 10 では電極 16 は光学マスクとしても機能している。

#### 【0035】

図 5 (A) ～ (D) は、図 1 の単一光子発生装置 10 の動作を説明する図である。

#### 【0036】

図 5 (A) を参照するに、半導体レーザ 18 からのレーザ光 18 A 中の各々の

パルスに対応して図5 (B) に示すように励起子が励起されるが、このうち複数の電子およびホールからなる励起子分子は図5 (B) 中に実線で示すように直ちに消滅する。一方、単一電子および単一ホールよりなる励起子は図5 (B) 中に破線で示すように再結合寿命が長く、励起子分子が消滅した後も存在している。

#### 【0037】

そこで図1の単一光子発生装置10では制御装置19Bが前記スイッチ19Aを図5 (C) のタイミングで駆動し、その結果図5 (C) のタイミングで単一電子が放出される。

#### 【0038】

さらに図1の単一光子発生装置10では、前記光学ゲート部材20を図5 (D) のタイミングで駆動することにより、発生した単一光子のうち、必要なものだけを取り出して、量子コンピュータ等の外部装置に供給することが可能になる。

### [第2実施例]

次に、図1の構成で使われる量子ドット13の作製方法を本発明の第2実施例として、図6を参照しながら簡単に説明する。

#### 【0039】

図6を参照するに、表面にAlAs層12をエピタキシャルに形成されたGaAs基板11はMBE装置中に導入され、600℃の基板温度に保持される。さらにそれぞれ850℃および300℃のセル温度に保持されたInセルとAsセルとからの分子ビームにより、前記AlAs層12上にはInAs層が2～3分子層程度形成されるが、InAs層13aはGaAs基板11に対して歪み系を形成するため、堆積したIn原子およびAs原子はAlAs層12表面において凝集し、径が20nm程度のInAsアイランドないしドット13aを形成する。

#### 【0040】

本実施例ではこのようなInAsドット13a形成した後、InAsに対してタイプIIのヘテロ接合を形成するGaSb層を、それぞれ950℃および480℃のセル温度に保持されたGaセルとSbセルとからの分子ビームにより、前

記InAs層13a上にGaSb層を15分子層程度形成する。この場合、先にも説明したように格子歪み系の効果により、Ga原子およびSb原子も前記InAsドット13a上に凝集し、前記InAsドット13a上にはGaSb層13bが形成される。このようなInAs/GaSbドットは、径が87 Åよりも小さい場合にタイプIIのヘテロ接合を形成することが知られている (Phys. Rev. B, vol.48, 4643 (1993))。

#### 【0041】

図7は、このようにして形成された図6の構造のバンド構造を示す。

#### 【0042】

図7を参照するに、InAsドット13aとGaSbドット13bとの間には図中に実線で示すようにタイプIIのヘテロ接合が形成されているのがわかるが、GaSbドット13bの成長に伴って前記GaSbドット13bとInAsドット13aとの間で元素の混合が生じ、図中に破線で示す組成傾斜を有する単一のドットが形成されるものと考えられる。このようなドットは典型的には20～50 nm程度の径と5～10 nm程度の高さを有し、キャリアを三次元的に閉じ込める量子ドット13を形成する。

#### 【0043】

なお、以上の実施例において前記タイプIIのヘテロ接合を含む量子ドット13は、InAsとGaSbの積層に限定されるものではなく、InGaPとInP、あるいはGaAsSbとInPの積層を使うことも可能である。さらに前記基板11はGaAsに限定されるものではなく、量子ドット13に対して歪み系を形成するものであれば、InP基板やGaP基板を使うことも可能である。

#### 【0044】

また前記量子ドット13はMBE法以外にも、MOCVD法を使って形成することも可能である。

#### 【0045】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

## 【0046】

(付記1) 量子ドットを含む励起子発生部と、  
前記励起子発生部中に励起子を生成させる励起部と、  
前記励起子発生部における励起子の再結合タイミングを制御する再結合制御部と、

前記励起子発生部に設けられ、前記励起子の再結合により生じた単一光子を通過させる光学窓とよりなり、

前記再結合制御部は、前記励起子発生部において前記励起子の再結合を、前記励起子の励起後、前記励起子発生部における励起子分子の再結合寿命よりも長い時間が経過した後で生じさせることを特徴とする単一光子発生装置。

## 【0047】

(付記2) 前記励起子発生部は、前記量子ドット内にタイプIIのヘテロ接合を含むことを特徴とする付記1記載の単一光子発生装置。

## 【0048】

(付記3) 前記前記量子ドットは、組成を一の側から他の側に向かって連続的に変化させることを特徴とする付記2記載の単一光子発生装置。

## 【0049】

(付記4) 前記量子ドットは、S-Kモード成長した量子ドットよりなることを特徴とする付記1～3のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

## 【0050】

(付記5) 前記量子ドットは、一对のAlAs層の間に挟持されたInAs層とGaSb層との積層よりなり、前記InAs層は前記GaSb層に向かって組成を連続的に変化させることを特徴とする付記1～4記載の単一光子発生装置。

## 【0051】

(付記6) 前記再結合制御部は、前記励起子発生部に設けた電極と、前記電極にバイアス電圧を印加する電圧源と、前記バイアス電圧の前記電極への印加を制御するスイッチ回路とよりなり、前記スイッチ回路は前記電極への前記バイアス電圧を、励起子分子の再結合寿命よりも長い間隔で行うことを特徴とする付記



1 ～ 5 のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

【 0 0 5 2 】

(付記 7) 前記光学窓は、前記電極に設けられていることを特徴とする付記 6 記載の単一光子発生装置。

【 0 0 5 3 】

(付記 8) さらに前記単一光子の光路上に設けられた光学ゲート部材を含むことを特徴とする付記 1 ～ 7 のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

【 0 0 5 4 】

(付記 9) 前記光学ゲート部材は、前記再結合制御部により制御され、前記励起子の再結合に同期して前記単一光子を通過させることを特徴とする付記 8 記載の単一光子発生装置。

【 0 0 5 5 】

(付記 1 0) 前記励起部は、レーザよりなることを特徴とする付記 1 ～ 9 のうち、いずれか一項記載の単一光子発生装置。

【 0 0 5 6 】

(付記 1 1) 媒体中に励起子を励起する工程と、  
前記励起子を再結合されることにより単一光子を発生させる工程とよりなる単一光子発生方法であって、

前記再結合工程は、前記励起工程の後、前記媒体中における励起子分子の再結合寿命よりも長い時間経過後に行われることを特徴とする単一光子発生方法。

【 0 0 5 7 】

(付記 1 2) 前記励起子を再結合させる工程は前記媒体に電界を印加する工程を含むことを特徴とする付記 1 1 記載の単一光子発生方法。

【 0 0 5 8 】

(付記 1 3) 前記媒体は、タイプ I I のヘテロ接合を形成する量子ドットを含むことを特徴とする付記 1 1 または 1 2 記載の単一光子発生方法。

【 0 0 5 9 】

【発明の効果】

本発明によれば、励起子発生部を構成する媒体中に励起された励起子の再結合

により単一光子を発生させる際に、前記励起子の再結合を、前記媒体中に同時に励起された励起子分子の再結合が終了したタイミングで行うことにより、単一光子を確実に抽出することが可能になる。このような励起子は、量子ドット、特にタイプ I I のヘテロ接合を形成する量子ドット中に光励起により容易に形成することが可能である。本発明の単一光子発生装置および単一光子発生方法を使うことにより、長距離通信系においても安全かつ確実に鍵配送が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施例による単一光子発生装置の構成を示す図である。

【図 2】

図 1 の単一光子発生装置の一部を拡大して示す図である。

【図 3】

(A) , (B) は、図 1 の単一光子発生装置の原理を説明する図である。

【図 4】

図 1 の単一光子発生装置において単一の量子ドット内に生じる励起子分子の分布を示す図である。

【図 5】

(A) ~ (D) は、図 1 の単一光子発生装置の動作を説明する図である。

【図 6】

本発明の第 2 実施例による量子ドットの作成方法を説明する図である。

【図 7】

図 6 の量子ドットのバンド構造を示す図である。

【符号の説明】

- 10 単一光子発生装置
- 11 GaAs 基板
- 12, 14 AlAs バリア層
- 13 InAs/GaSb 量子ドット
- 13a InAs ドット
- 13b GaSb ドット

1 5   G a A s   コ ン タ ク ト 層

1 6   上 部 電 極

1 6 A   光 学 窓

1 7   下 部 電 極

1 8   レ ー ザ

1 8 A   レ ー ザ ビ ー ム

1 9   バ イ ア ス 電 源

1 9 A   ス イ ッ チ 回 路

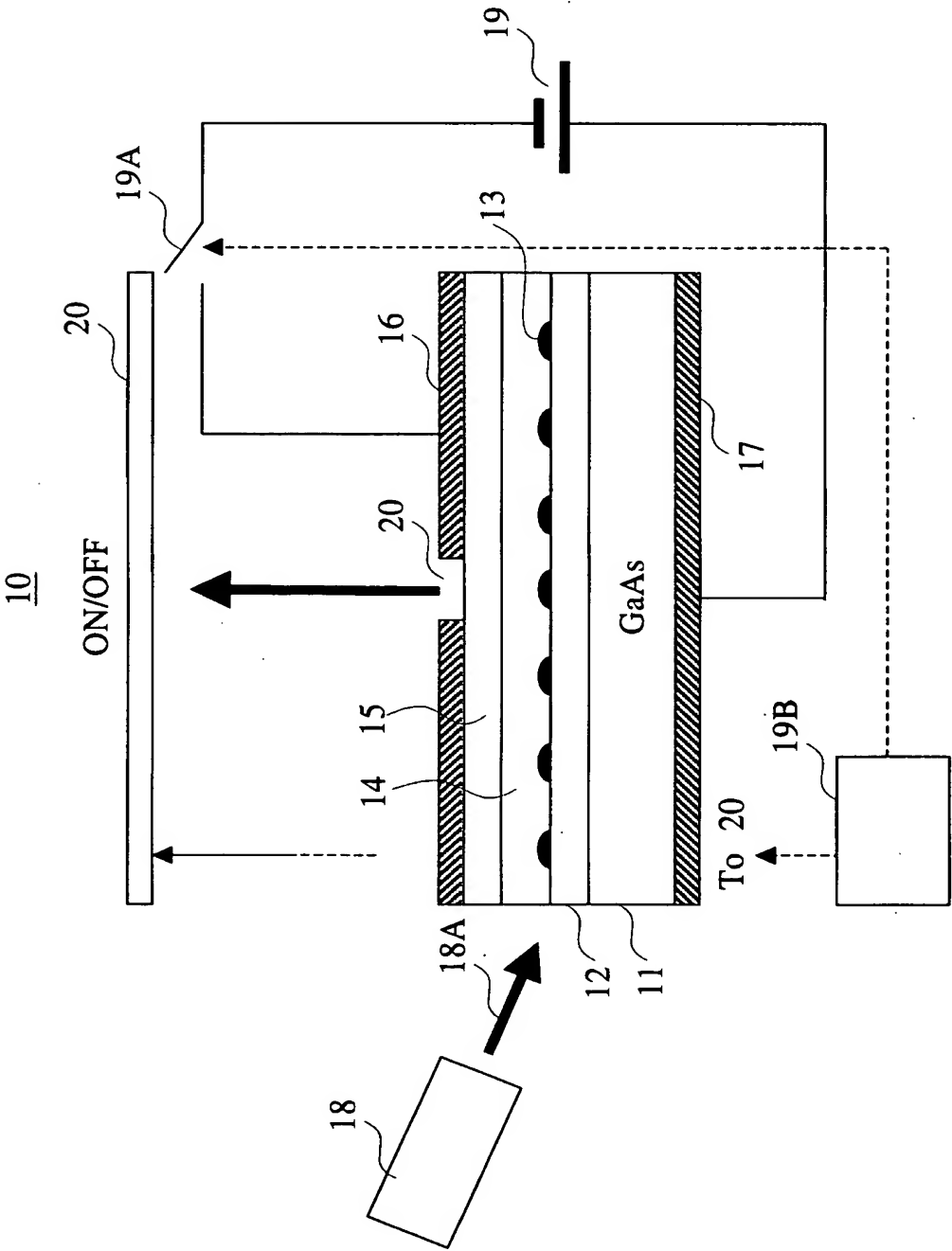
1 9 B   制 御 装 置

2 0   光 学 ゲ ー ト 部 材

【書類名】 図面

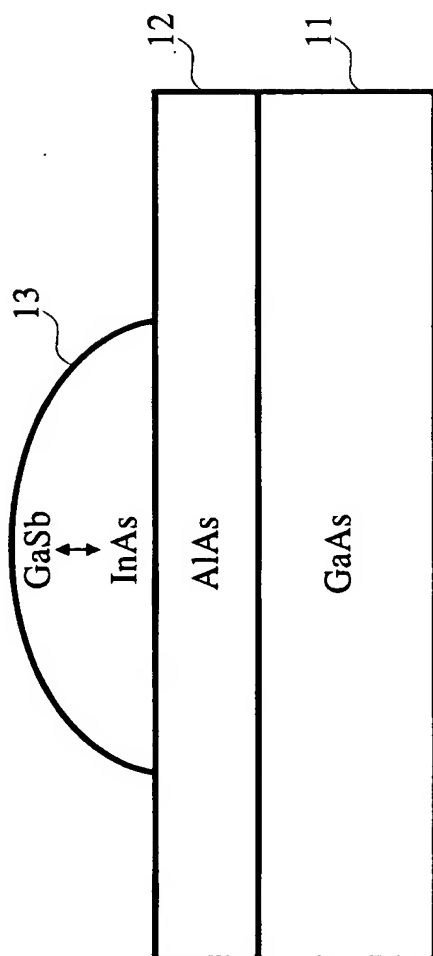
【図 1】

本発明の第1実施例による単一光子発生装置の構成を示す図



【図 2】

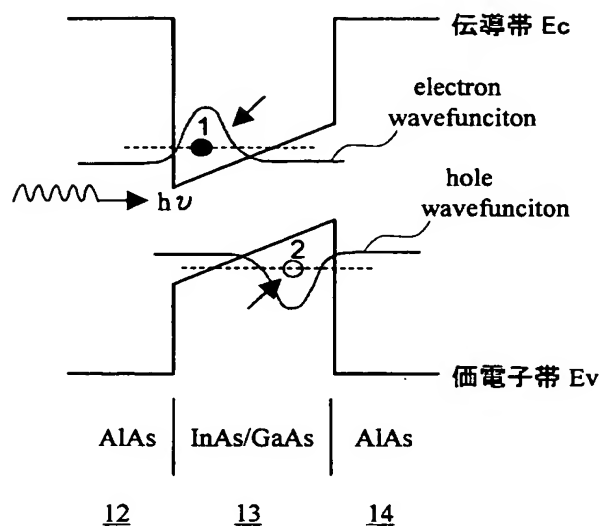
図1の単一光子発生装置の一部を拡大して示す図



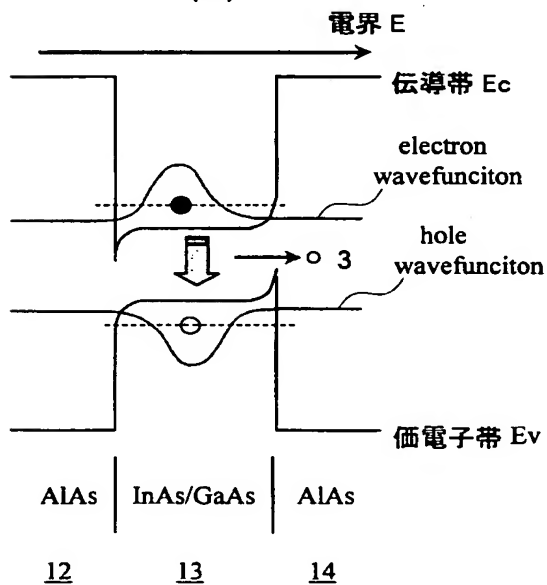
【図 3】

(A), (B)は、図1の単一光子発生装置の原理を説明する図

(A)

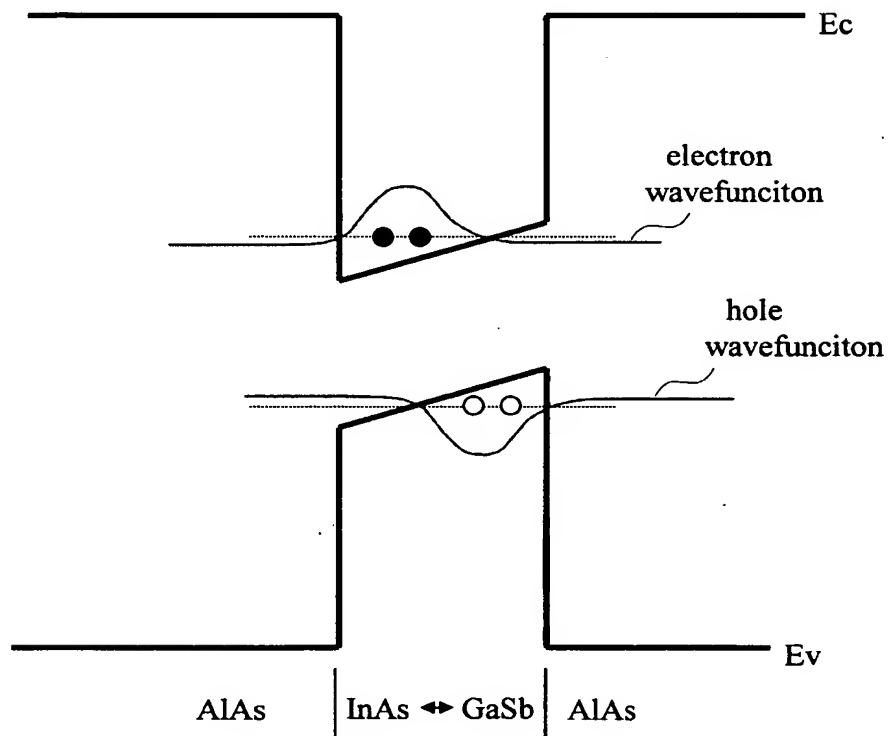


(B)



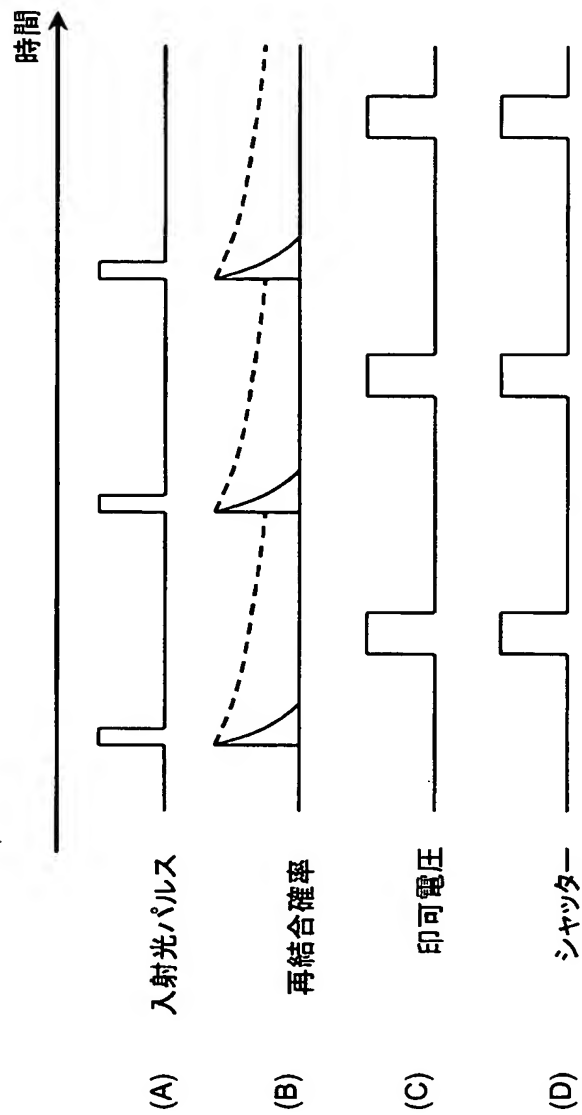
【図 4】

図1の単一光子発生装置において  
単一の量子ドット内に生じる励起子分子の分布を示す図



【図 5】

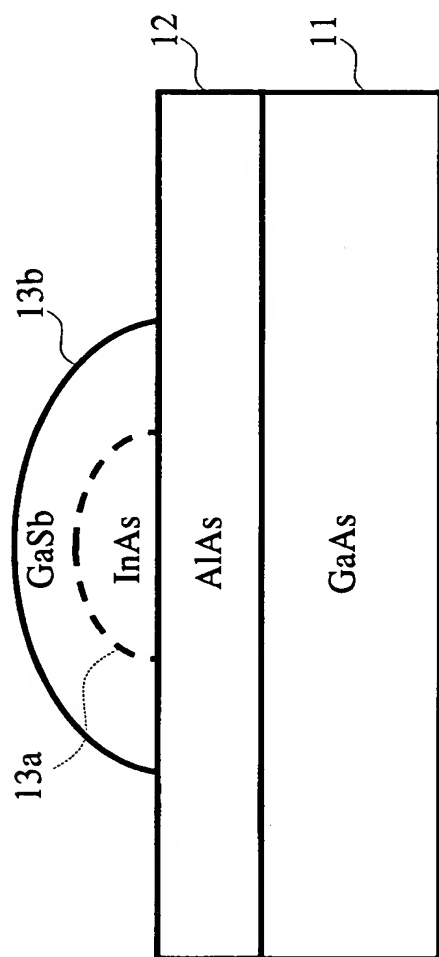
本発明の第2実施例による量子ドットの作成方法を説明する図





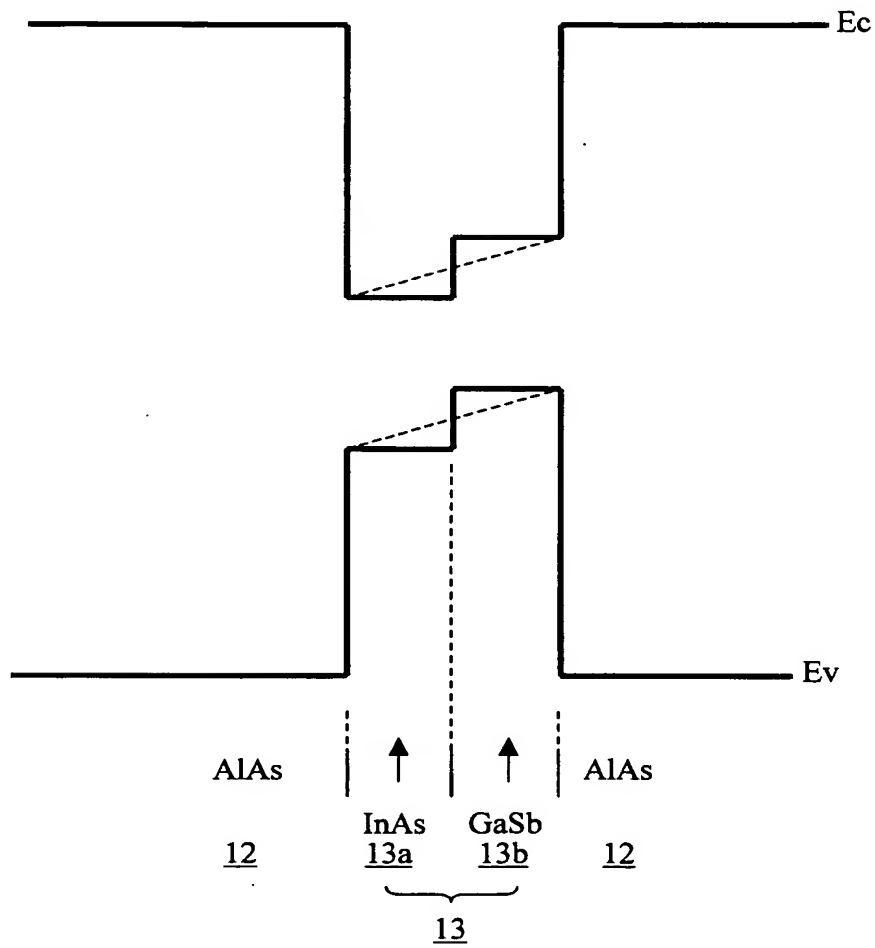
【図 6】

本発明の第2実施例による量子ドットの作成方法を説明する図



【図 7】

本発明の第2実施例による量子ドットの作成方法を説明する図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 単一の光子を確実に発生できる単一光子発生装置を提供する。

【解決手段】 量子ドット中に組成勾配を形成し、光励起された電子とホールとを、空間的に分離した位置にそれぞれ保持する。単一光子発生時には、かかる量子ドットに電界を印加し、保持されている電子とホールとを再結合させる。その際、再結合のタイミングを、光励起後、前記量子ドット中に形成されている励起子分子の再結合寿命に相当する時間が経過した後になるように設定する。

【選択図】 図 5

特願 2 0 0 3 - 0 4 3 1 8 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社